

# 3D 半立体映像の投影方式の検討

佐藤 貴子

## Prototype of 2.5D image projection method

Takako SATO

This paper introduces the prototype of a 2.5D image projection method. Although false holograms can make 3D CG images appear in the real world, the images themselves are 2-dimensional images. Therefore, we attempted to combine multiple false holograms and project them as a 2.5D image.

---

**Keywords:** False Hologram, Projection Mapping, Pepper's Ghost

### 1. はじめに

3D CGはかつて、軍事技術の一環として開発され、大規模なコンピュータを使って何時間もかけてようやく1枚の画像を生成していた<sup>[1]</sup>。しかし今や、フリーソフトと市販のノートPCでも、比較的手軽に3D CGを作り出すことができるようになった。

3D CGでは、幅・高さ・奥行きのある3次元空間上に物体（オブジェクト）があるものとしてデータを扱う。一般的には直交する $x$ 軸、 $y$ 軸、 $z$ 軸を基準とした3次元座標系を用い、表面形状を表す頂点の位置を3次元座標で表し、それをつないで辺・面の位置・向きを表したり、粒子の位置を3次元座標で表したりする。しかし、それを表示する際、通常のモニタは2次元の画像を表示させるようにできているため、3次元空間内に仮想的なカメラを設置し、そのカメラの位置・向きなどをもとに仮想カメラから見た時の景色を計算して1枚の2次元画像に変換（レンダリング）してディスプレイに表示させている。

3D CG空間全体を立体に見えるようにするためには、人間の左目と右目に視差画像（左目と右目の目幅の距離ぐらいすこしずれた位置でレンダリングした画像）を見せる必要がある。3D空間全体を立体に見せる方法としては、視差画像を投影したスクリーンを専用の3D眼鏡を使って観る手法<sup>[2]</sup>、レンチキュラーレンズなどにより裸眼でも左目と右目に異なる映像を見せることができる装置を使う手法<sup>[3]</sup>、VRゴーグルを装着する手法<sup>[4]</sup>などがある。手軽なものではスマートフォンの画面の左側に左目用、右側に右目用の画像を表示させ、それぞれが左目・右目のみに見えるようにする囲いが販売されており<sup>[5]</sup>、簡易にVRゴーグルと同様の装置を作ることができるものもある。

一方、3D CGのキャラクターや物体（オブジェクト）が現実世界の中にあるかのように表示させる取り組みも様々なされている。現実世界の映像をカメラで取り込み、3D CGのキャラクターやオ

ブジェクトと合成した映像を作る手法はAR（Augmented Reality）やMR（Mixed Reality）として知られているが、今回はARやMRで合成映像をディスプレイなどに表示するものではなく、空間上にあたかも物体が存在するかのように表示する方法について考える。

## 2. 現実世界の中に映像を表示させる技術

ペッパーズゴーストという手法は、もともとは3D CGではなく、実物を本来ある場所とは別の場所にあるかのように見せる手法である<sup>[6]</sup>（図1）。舞台の最前面とその下に斜めに傾けた透明な板を設置しておき、舞台の真下にいる役者に光を当てると、役者の像が2枚の透明板を反射して観客に見えるようになる。透明板を透過して舞台上の背景も見えるため、あたかも舞台上に役者がいるかのように見えるのである。3D CGの場合は実物を用意する必要がないため、背景を黒にしてレンダリングしたキャラクター映像を舞台上の1枚の透明板に反射させるだけでよく、この方式を活用したVRシアターもあった<sup>[7]</sup>。

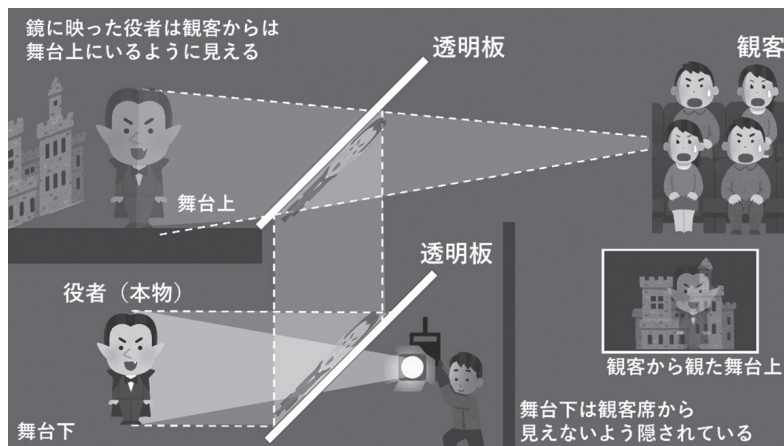


図1 ペッパーズゴースト

透明板を4枚使うと、正面のみならず左右から見ても立体に見えるようにすることができる<sup>[6]</sup>（図2）。透明板を斜めに貼り合わせて逆ピラミッド型を作り、下部からそれぞれの透明板に反射するように4分割した映像を投影すると、ピラミッドの中央部分に立体像が見えるようになる。この手法は大きいディスプレイを用いれば大きな映像を映し出すことができるが、スマートフォンなどでも手軽に実現することが可能である。技術的にはホログラムではないが、立体的に見えることから3Dホログラムや疑似ホログラムなどと呼ばれている。

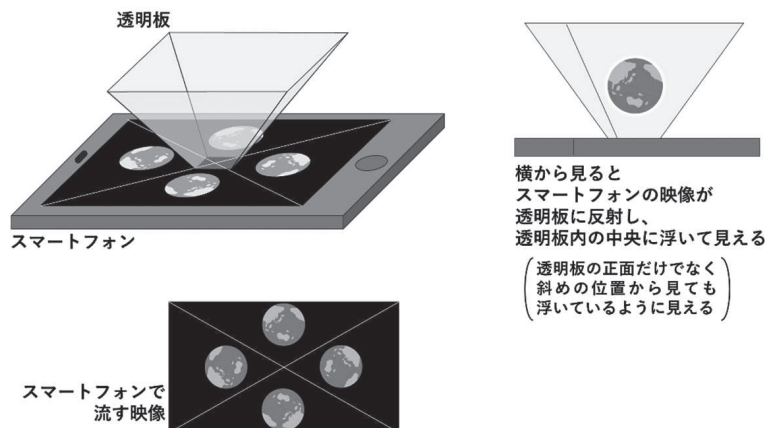


図2 3Dホログラム（疑似ホログラム）

このほかにも、特殊な装置を使って現実世界に立体を表示させる技術はあるが<sup>[8]</sup>、透明板を使う方法は小型であれば透明なプラスチック板とスマートフォンを使って手軽に扱うことも可能であり、透過して実際の背景が見えることから空間に物体が浮いて見えることが特徴である。しかしいずれも、実写の映像、または巧みな映像演出を加えてレンダリングした3D CGを使うことで、平らなはずの映像を特定の奥行きにあたかも立体として物体が存在するかのように見せるために使われている。

ここで、複数の奥行きに物体が存在するかのように表示できれば、従来の背景に加え、キャラクターの手前に小物があるように見せたり、複数のキャラクターを横並び以外の位置関係で表示させたりすることができるのではないかと考えた。そこで今回は、簡易な装置で複数の奥行きに物体が浮いて見える手法について考えることとした。

### 3. 奥行きの表現

ペッパーズゴーストを利用したVRシアターでは、現実の舞台にも傾斜をつけ、透明板に投影するキャラクターの位置やサイズを巧みに調整することで奥行きを表現していた<sup>[7]</sup>。しかし、地面からキャラクターが浮いて見えると違和感が出るため、細かい調整が必要になり、簡易に実現することは難しい。

そこで複数の奥行きを簡易に実現するため、奥行き方向に複数枚の投影面を重ねて観ることを考えた(図3)。奥のスクリーンに映された像は手前に設置されたスクリーンを透過して見ることになるため、十分な光量が必要になる。また、全てのスクリーンにそれぞれ映像を表示させる装置を用意するとなると、映像によってはそれぞれの同期なども必要になる。簡易な装置で実現するため、今回は大型ディスプレイなどではなく、プロジェクターを使って投影することにした。

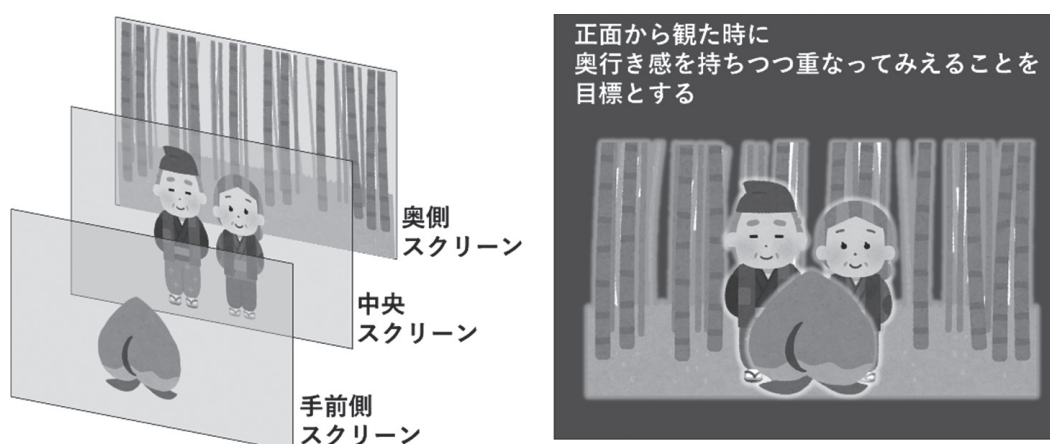


図3 今回目標とする奥行き表現のイメージ

今回参考にした方法は、3D CGキャラクターによる舞台公演などで使われている半透明スクリーンを使った方式である(図4)。この方式では、舞台上に立てた半透明のスクリーンにプロジェクターで背景を黒にしてレンダリングしたキャラクター映像を映し、あたかも舞台上にキャラクターが存在するかのように観客にみせている。

今回はこの半透明のスクリーンを複数使い、奥行き方向に並べ、それぞれに別の映像を投影することを考えた。大まかな仕組みは図5の通りである。スクリーンを複数、距離を開けて視点側からは重なり合うように設置し、それらのスクリーンに斜めからプロジェクターで映像を投影する。この時、プロジェクターからみてスクリーンが重なり合わないような位置にプロジェクターを設置し、プロジェクションマッピングの手法で映像を変形させて投影することで、1台のプロジェクターのみでそれぞれのスクリーンに別々の映像を表示させるというものである。

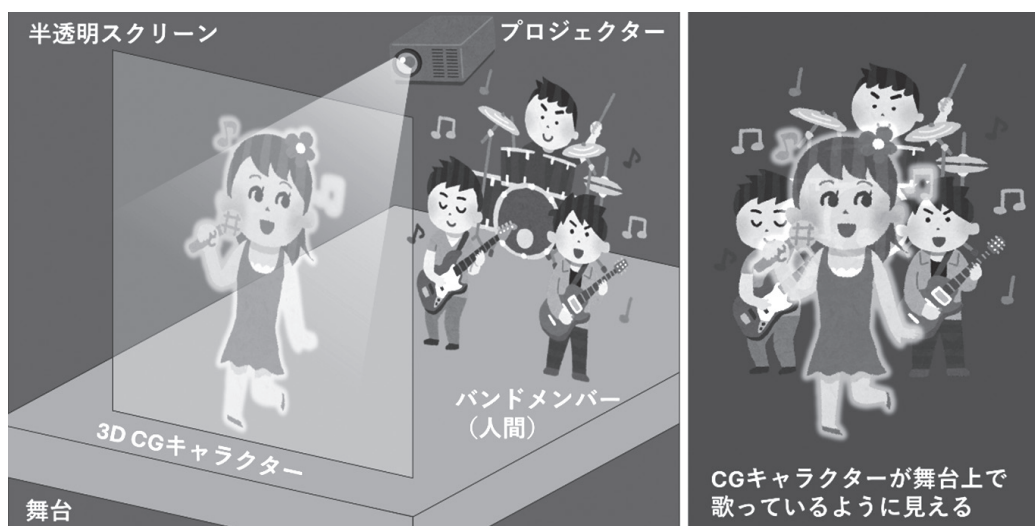


図4 半透明スクリーンとリアプロジェクションによる舞台公演

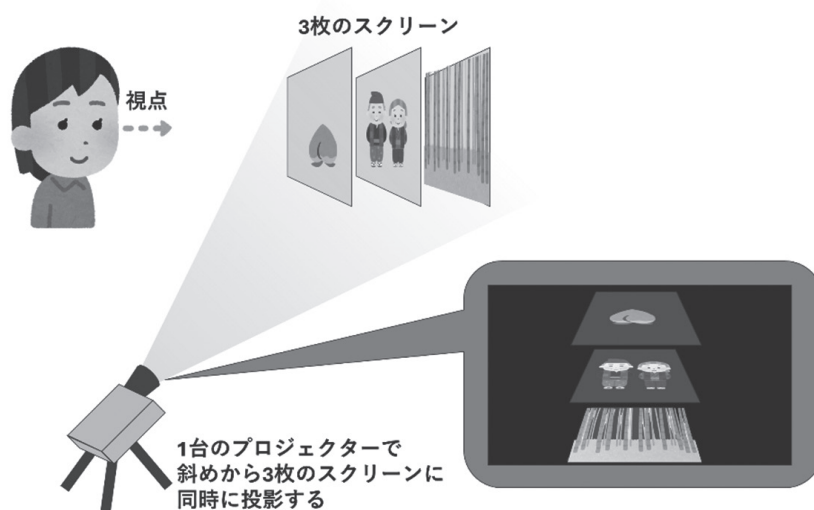


図5 システムの大まかな仕組み

今回作成したスクリーンはおよそA4サイズで、スクリーン間の距離を1cm刻みで調整できるよう、図6のような装置を作成した。

スクリーンには、手軽に入手でき、半透明で加工もしやすいことから、A4クリアファイルを利用した。

3枚のスクリーンを使い、斜め下からプロジェクターで重なり合わないよう映像を投影できるよう調整した状態が図7である。プロジェクターはASUS LED projector model sl (表1)、プロジェクションマッピング用ソフトにはGrandVJ XTとVideoMapperを使用した<sup>[9]</sup>。

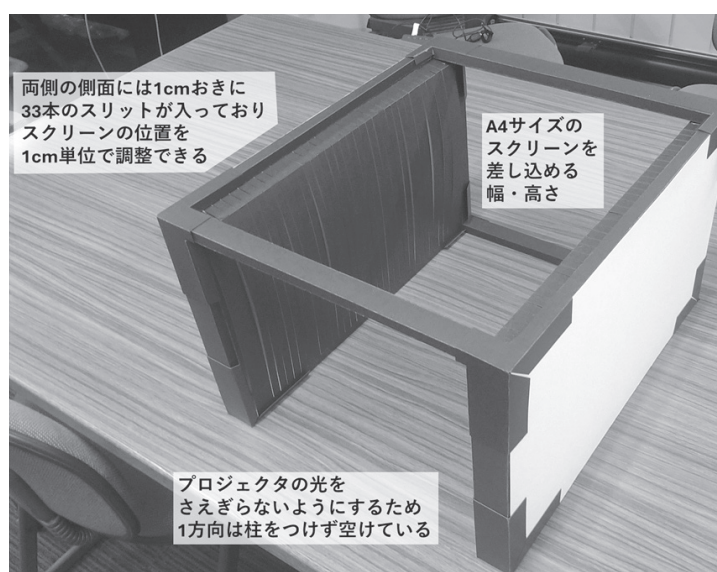


図6 スクリーン調整用装置 (紙製)

スクリーンは調整装置の一番手前に1枚、1枚目から12cm後ろと32cm後ろに2枚目と3枚目を差し込むことで、1台のプロジェクターのみでも丁度重ならず各スクリーンに映像を投影することができた。

表1 プロジェクター仕様

| 項目      | 内容          |
|---------|-------------|
| 投影方式    | DLP         |
| 輝度      | 200ルーメン     |
| 最大解像度   | 854×480     |
| 画面サイズ   | 30～100型     |
| 投影距離    | 0.73m～2.43m |
| 最大表示色   | 約1677万色     |
| コントラスト比 | 1,000:1     |

#### 4. 視点を固定した投影

まず最初に、3枚のスクリーンに投影されるための映像を作成した。Adobe Animateを使い、3枚のスクリーン分の映像を複数レイヤーに分けて重ねて制作した上で、動画を出力する際に各スクリーンで必要なレイヤーのみ表示させて変換することを繰り返し、それぞれのスクリーンに投影するための映像を3本作成した(図9)。

これら3本の映像全てをA4サイズで投影してしまうと、近くのスクリーンの映像は大きく、遠くのスクリーンの映像は小さく見えてしまい、きれいに重なり合わない。そこで3本の映像をピッタリ重ねて表示させるためには、観る人の視点の位置からピッタリ3枚の映像が重なって見えるよう、スクリーンに対する映像の投影位置や大きさを調整する必要がある。このため、観る人の視点の位置をひとまず固定するために視点として想定する位置にカメラを置き、それぞれのスクリーンに格子状の映像を投影した。具体的には、プロジェクションマッピングの技術を使い、1つのスクリーン上に1つの格子が表示されるようにした。その後、視点カメラから見て格子がぴったり重なり合うよう映像のサイズ・投影位置等について調整を行った(図8)。映像の4角だけでなく、格子状の映像で調整を行ったのは、微妙なスクリーンのたわみにより映像が変形して投影される場合があり、適宜形状も調整する必要があったためである。

調整が済んだら、各スクリーンに前景、キャラクター、背景をそれぞれ投影し、視点側から見て奥行きがあるように映るかを確認した。

この方式でプロジェクターに出力した画面が図10、投影してみた結果が図11である。3枚の映像が重なり合い、実物で見るとある程度遠近感を感じながら観ることが可能であるが、残念ながら劇的に立体感を感じられるほどではなかった。

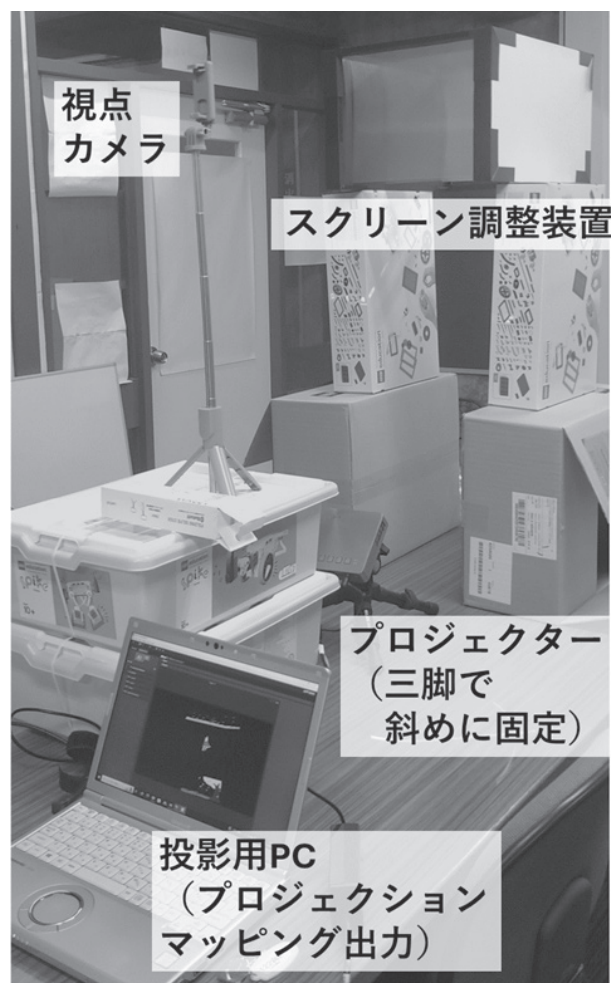
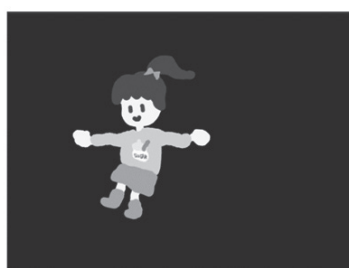


図7 作成した投影システム



手前側：草むらと花びら



中央：飛び回る子供



奥側：草むら、木、花びら



重なった時のイメージ

図8 制作した映像1

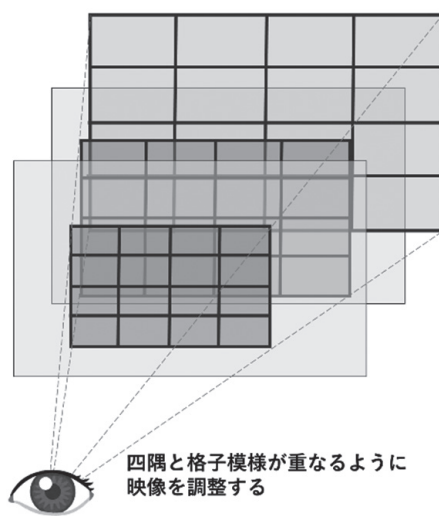


図9 視点から見た投影位置・サイズの調整



図10 プロジェクターから投影した映像



図11 視点から見た投影像

## 5. 考察と改良

4. で行った実験では、最も手前のスクリーンから30cm程度離れた位置に視点を固定していた。そのため、一番奥のスクリーンをA4サイズ相当に設定しても、その位置にちょうど合うサイズに調整すると手前側のスクリーンの投影面は幅・高さともに半分程度となってしまう、非常に小さい画面になってしまった。

また、視点が固定されることで両目の視差の差分でしか奥行き感が感じられない。もし、回り込んでみる事ができれば、手前に投影されている画像と奥で投影されている画像との間で位置関係が変わることからも奥行き感が感じられるのではないかと考えた。

そこで、最初から今回のシステムで投影することを前提に改めてコンテンツを作ることとし、各面に投影する映像を最初から別のサイズで作成することを考えた(図12)。今回は3枚のスクリーンのうち中央のスクリーンにキャラクターを表示させ、手前側にはキャラクターより手前にあるべき小物、奥側には背景のうち動いてほしいものを表示させる。そのため、手前側のスクリーン用の映像は横長に作った。また、中央のスクリーンはMMDの3D CGキャラクターの映像を利用した<sup>[10][11]</sup>。

これらを図14のように投影した結果が図13である。移動して視点を横方向に変えながらみると、キャラクターと前景や背景との位置関係が変わることから、より奥行き感を体感できるようになった。



手前側：草むらと花びら



中央：3D CGキャラクター



奥側：草むら、木、花びら

図12 制作した映像2

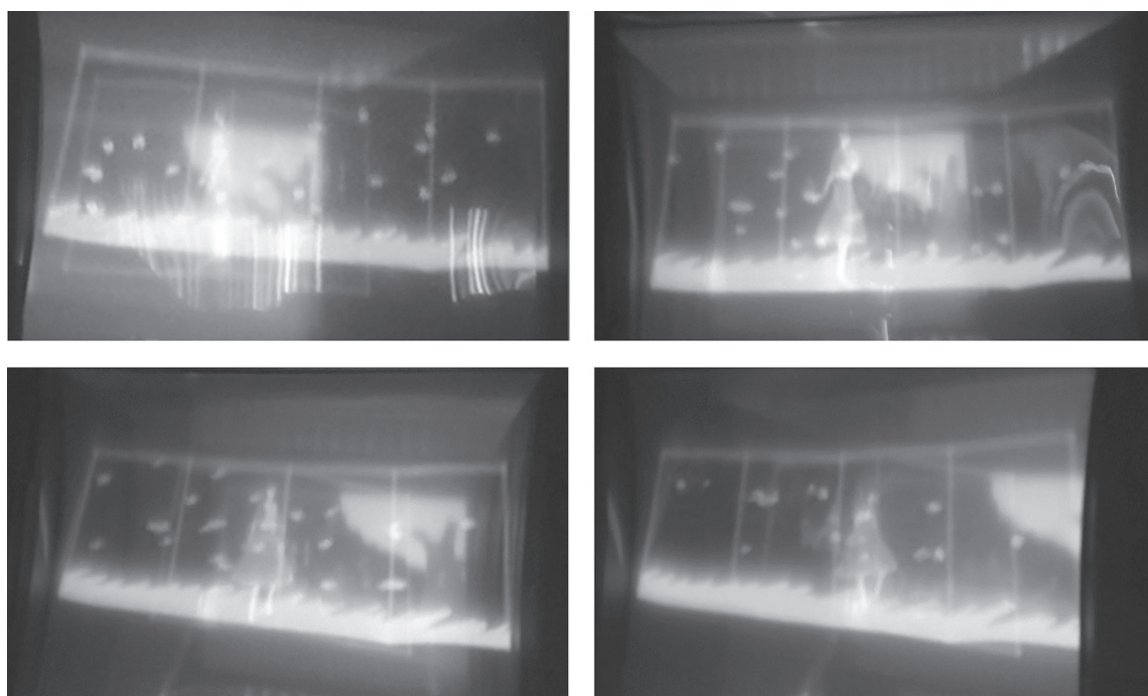


図13 投影したものを視点を横方向に変えながらみたところ

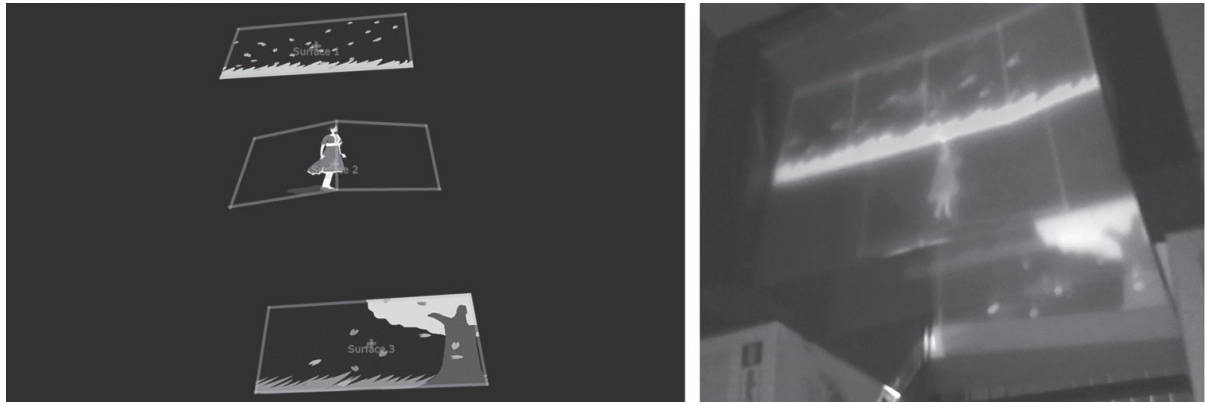


図14 プロジェクターから投影した映像（左）と、スクリーンを斜め下から見たところ（右）

## 6. まとめ

今回は簡易なシステムで奥行き感のある映像の投影を試み、箱1つ分の投影スクリーンと1台のプロジェクターのみで実現することができた。よりしっかり回り込みながら見えるようにするにはプロジェクションマッピングの技術を生かして平面以外の投影面に変更するなど、今後検討の余地があるといえる。

## 謝辞

今回の実験に際し、佐藤ゼミ2023年度卒業生の野口桃花氏が卒業論文で作成したMMDキャラクター<sup>[10]</sup>、ならびに 그레이氏の「服をお披露目するときのターンモーション」<sup>[11]</sup>を利用させていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 大口孝之：コンピュータ・グラフィックスの歴史 3DCGというイマジネーション，フィルムアート社，2009
- [2] 高木康博：立体ディスプレイの基礎（講座：ディスプレイの基礎 [第5回]），映像情報メディア学会誌，Vol.67，No.11，pp.966-971（2013）
- [3] 高木康博：基礎3：裸眼 3Dディスプレイ（講座 誰にでもわかる 3D 第5回），映像情報メディア学会誌，Vol.65，No.5，pp.654-659（2011）
- [4] Meta Questの概要（最終閲覧：2024年3月1日）<https://www.meta.com/jp/quest/>
- [5] サナリスVRボックス（最終閲覧：2024年3月1日）<https://snaris.com/vr/vrb.html>
- [6] ミライの技術を体験！ THE ★3Dの世界，『小学館スペシャル』12月号『小学8年生』12・1月号，pp.7-15，小学館（2021）
- [7] ホログラフィック舞台劇場「DMM VR THEATER」の可能性とは？「ドリフェス！」ライブレポ（最終閲覧：2024年3月1日）<https://realsound.jp/movie/2017/09/post-113222.html>
- [8] 市橋保之，湧波光喜，吉田俊介：ホログラフィック光学素子と複数の小型プロジェクタを用いたAR-3Dディスプレイシステムの実装，映像情報メディア学会誌：Vol.77，No.4，pp.546-551（2023）
- [9] 藤川佑介：これからはじめるプロジェクションマッピング，マイナビ（2014）
- [10] 野口桃花：オリジナル人型 3DCGモデル（MMDモデル）制作，2023年度相模女子大学メディア情報学科卒業論文（2024）
- [11] 그레이：服をお披露目するときのターンモーション（vmd）（最終閲覧2024年3月1日）<https://bowlroll.net/file/230708>